

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-259264

(43)Date of publication of application : 03.10.1997

(51)Int.Cl.

G06T 3/00  
G02B 13/00

(21)Application number : 08-067951

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 25.03.1996

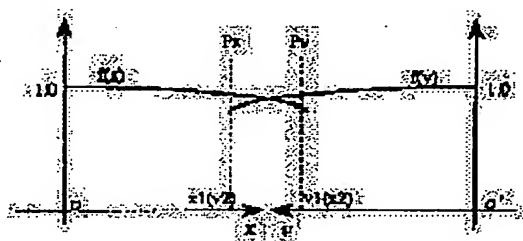
(72)Inventor : EJIRI KOICHI  
MIYAZAWA TOSHIO  
SEKI KAIKATSU

## (54) DISTORTION ABERRATION CORRECTION METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To correct the distortion aberration of images based on photographed digital images.

SOLUTION: The position (y) of the image of an object at a distance (x) from the center of the images is indicated by  $f(x)$ . The  $f(x)$  is a correction function and is approximated by  $1-Ax^2$  (A is a constant). from the observation values  $y_1$  and  $y_2$  of two points  $r_1$  and  $r_2$  in a coordinate system (o) and the observation values  $y_1'$  and  $y_2'$  of the two points  $r_1'$  and  $r_2'$  in the coordinate system  $o'$ , the cubic equation of  $y_1-y_2$  and  $y_1'-y_2'$  is prepared. Since the distance between the objects of both coordinate systems is equal, the two cubic equations are solved on condition that  $r_1-r_2=r_1'-r_2'$ .



BEST AVAILABLE COPY

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 14.12.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-259264

(43)公開日 平成9年(1997)10月3日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 T 3/00			G 0 6 F 15/66	3 6 0
G 0 2 B 13/00			G 0 2 B 13/00	

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 6 頁)

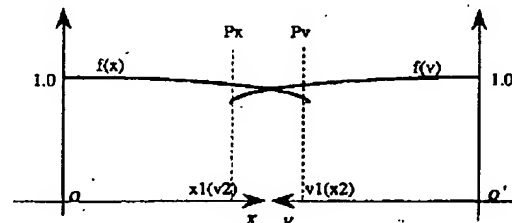
(21)出願番号	特願平8-67951	(71)出願人	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22)出願日	平成8年(1996)3月25日	(72)発明者	江尻 公一 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
		(72)発明者	宮澤 利夫 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
		(72)発明者	関 海克 東京都中央区勝鬨3丁目12番1号 リコーシステム開発株式会社内
		(74)代理人	弁理士 鈴木 誠 (外1名)

(54)【発明の名称】 歪曲収差補正方法

(57)【要約】

【課題】 撮影されたデジタル画像を基に画像の歪曲収差を補正する。

【解決手段】 画像の中心からの距離  $x$  における物体の像の位置  $y$  を  $x f(x)$  で表す。 $f(x)$  は補正関数であり、 $1 - Ax^2$  で近似する ( $A$  は定数)。座標系  $o$  での2点  $r_1, r_2$  の観測値  $y_1, y_2$  と、座標系  $o'$  での2点  $r_1', r_2'$  の観測値  $y_1', y_2'$  から、 $y_1 - y_2, y_1' - y_2'$  の3次方程式をつくる。両座標系の物体間の距離は等しいので、 $r_1 - r_2 = r_1' - r_2'$  を条件に2本の3次方程式を解く。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 任意の点が画像の中心から角度（光軸からの角度） $x$ にあり、 $x$ における物体の像の位置 $y$ を $y = x f(x)$ で表し、補正関数 $f(x)$ を $f(x) = 1 - Ax^2$ で近似し（ $A$ は定数）、一地点から撮影された共通の対象物を含む2枚の画像の実測値 $y$ を基に、前記3次方程式を解き、前記補正関数の定数 $A$ を決めることを特徴とする歪曲収差補正方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像の歪曲収差を補正する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】同じ対象物、あるいはほとんど同じ対象物を複数の画像に分けて撮影し、後でこれを貼り合わせて1枚の画像を合成することがある。ところがレンズ系には固有の歪がある。なかでも歪曲収差といわれる幾何学的歪は、画像の中心付近と周辺部で画像の縮率が異なるために起きるもので、撮影された画像をつなぎ合わせるときにはしばしば問題になる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】すなわち、例えば図1に示すように、画像の中心をそれぞれ $o$ 、 $o'$ としたとき、任意の同一対象物 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ は中心 $o$ から見たときと、異なる中心 $o'$ から見たときでは（このときのパターンを $p_1'$ 、 $p_2'$ 、 $p_3'$ で表す）、合同になるとは限らない。中心からの距離が異なれば通常のレンズ系では異なった空間歪（歪曲収差と呼ぶ）を生じる。光学系を構成するレンズの位置関係が決まれば、このような収差の大きさも一意的に定まるが、最近の自動

焦点機能付きカメラでは焦点位置を自動的に判定するため、この補正パラメータは撮影者には分からない。しかも、通常利用されているズーム系ではより一層複雑になる。本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、本発明の目的は、撮影されたデジタル画像の映像\*

$$\begin{aligned} y_1 - y_2 &= (r_1 - r_2) - (Ar_1^2 - Ar_2^2) \\ &= (r_1 - r_2) \{1 - A(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)\} \quad (3) \\ y_1' - y_2' &= (r_1' - r_2') - (A' r_1'^2 - A' r_2'^2) \\ &= (r_1' - r_2') \{1 - A'(r_1'^2 + r_1' r_2' + r_2'^2)\} \quad (4) \end{aligned}$$

2つの画像に写っている物体の間の距離は等しいはずであるから、以下の関係が成り立つ。

【0008】

$$r_1 - r_2 = r_1' - r_2' \quad (5)$$

従って、(5)式の条件を満足しながら、(3)、

(4)の3次方程式を解けばよい。この処理手順を図3の処理フローチャートに示す。

【0009】次に、幾何歪の補正方法を実際の処理手順に適用した場合について、以下説明する。2つの対応す

\* だけから画像の歪曲収差を補正する方法を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために、本発明では、任意の点が画像の中心から角度（光軸からの角度） $x$ にあり、 $x$ における物体の像の位置 $y$ を $y = x f(x)$ で表し、補正関数 $f(x)$ を $f(x) = 1 - Ax^2$ で近似し（ $A$ は定数）、一地点から撮影された共通の対象物を含む2枚の画像の実測値 $y$ を基に、前記3次方程式を解き、前記補正関数の定数 $A$ を決めることを特徴としている。

【0005】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を図面を用いて具体的に説明する。図2は、ある点が画像中心点から $x$ の角度（光軸からの角度）にあるとき、この $x$ が見かけ上、 $f(x)$ に変換されることを示している。関数 $f(x)$ はほとんどの場合1より小さい値を持つが（樽収差）、逆の場合もある（糸巻収差）。経験則によれば、 $f(x)$ は、2次関数で近似できる。ここでは計算の容易な2次関数近似を用いて、上記収差の補正を行う。

【0006】画像11において、 $p_1$ の中心 $o$ からの距離を $r_1$ 、 $p_2$ までの距離を $r_2$ と置く。同様に他方の画像12における対応点を $p_1'$ 、 $r_1'$ 、 $p_2'$ 、 $r_2'$ と置く。上述したように、画像の中心からの距離 $x$ における物体の像の位置 $y$ は、

$$\begin{aligned} y &= f(x) \quad (1) \\ \text{と表せる。ここで } f(x) \text{ は補正関数であり、通常} \\ f(x) &= 1 - Ax^2 \quad (2) \end{aligned}$$

で近似できる。ここに $A$ は定数である。

【0007】座標系 $o'$ における関係式は

$$\begin{aligned} f(x) &= 1 - A' x^2 \\ \text{すなわち2点 } r_1, r_2 \text{ の観測値 } y_1, y_2 \text{ は} \\ y_1 &= r_1 f(r_1) \\ y_2 &= r_2 f(r_2) \\ \text{と表せる。(1)式の関係より} \end{aligned}$$

る画像をそれぞれ $G_1$ 、 $G_2$ と置く。この2つの画像には、図4に示すように共通の対象物が複数個写っているとする。

【0010】 $G_1$ を適当なサイズの長方形のブロックに分割し、これを $B_1(I, J)$ と置く。ここに、 $I, J$ はブロック $B_1$ の中心の座標である。

【0011】次に $B_1(I, J)$ に対応する $G_2$ のパターンを見つける。これにはブロック $B_1(I, J)$ をテンプレートとし、 $G_2$ 内部を走査しながら、

3

誤差 $=E=|B1(I, J)-B2(I', J')|$   
が最小となる $I', J'$ を求める。これがパターン $B1(I, J)$ が対応する座標値である。

【0012】さらに、上記座標値 $(I, J)$ の精度を画素ピッチ以下に向上させるための計算をする。誤差評価関数 $S$ を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \text{【0013】 } S = & \sum_{i,j} \{ \Delta i (B2(I'+1, J') \\ & - B2(I'-1, J')) + \Delta j (B2(I', J'+1) \\ & - B2(I', J'-1)) + 2 (B2(I', J') \\ & - B1(I, J)) \}^2 \end{aligned}$$

上記の $S$ を最小にする $\Delta i, \Delta j$ を求める。ただし、 $0 \leq |\Delta i|, |\Delta j| \leq 1$ である。このとき、上記した2つの誤差 $E$ と $S$ の最小値を与える

$$(I' + \Delta i, J' + \Delta j)$$

が、ブロック $B1$ に含まれるパターンに対応する $G2$ の座標値である。

【0014】従って、光軸からの角度（像面と対象物面が平行な場合は画像の中心からの距離）は

$$y1 = \sqrt{(I * I + J * J)}$$

$$y1' = \sqrt{\{(I' + \Delta i)^2 + (J' + \Delta j)^2\}}$$

同様にして多数の対応するパターンの組を求め、これを $(yn, yn')$ で表す。図4では、 $B2$ と $B2'$ がその1組の例である。

【0015】（補正関数の同定）ここでは、対象物が存在する平面と画像が形成される面は平行とし、そうでない場合は後述する。

【0016】ステップ $S1$ ；（1）式に（2）式を代入し、次に上で求めた「対応するパターンの組の座標値」 $y1, y2, y3, \dots, yn, y1', y2', y3', \dots, yn'$ を代入する。

【0017】このときの方程式は、以下の3次方程式である。

$$y = x - Ax^3 \quad (6)$$

ステップ $S2$ ； $A$ に適当な数値を入れる（例えば $A=10$ ）。

【0018】ステップ $S3$ ；（6）式を解いて、各 $yn$ に対応する解を $x1, x2, x3, \dots, xn, x1', x2', x3', \dots, xn'$ とおく。

【0019】解法： $y1 = x - Ax^3$

$$p = -1 / (3A)$$

\*40

$$k\_ = [kr(i, j)] ; k\_ = [kr(i+1, j)]$$

$$l\_ = [lr] ; l\_ = [kr(i, j+1)]$$

と置くと、 $k\_ , l\_$ はそれぞれ $kr(i, j), lr(i, j)$ の小数部分を切り捨てた整数値である。任意の整数の組 $(k, l)$ が与えられたとき、

$$k\_ \leq k \leq k\_ ,$$

$$l\_ \leq l \leq l\_ ,$$

を満たす元の画像番地 $(i, j), (i+1, j),$

$(i, j+1), (i+1, j+1)$ の画像信号を $s$

$(i, j), s(i+1, j), s(i, j+1), s$  50

4

$$* q = y1 / 2 ; \quad \cos \phi = -q / \sqrt{-p}$$

とおくと、 $|A| \leq 1$ のとき

$$x = 2 \sqrt{-p \cos(\phi/3)}$$

が解として求められる。

【0020】ステップ $S4$ ；（5）式がOK、または繰返し回数が $n$ 以上であればステップ $S7$ に進む。

【0021】ステップ $S5$ ；そうでない場合は（5）式より、 $\langle x2 \rangle = x1' - x1 + x2$ だからここで、 $\Delta x2 \equiv \langle x2 \rangle - x2'$ と定義すると、（6）式から $d$

10  $A/dx$ が求められる。これより微小変化量 $\Delta A$ は

$$\Delta A = (-2/x^2 + 3y/x^3) \Delta x2$$

ステップ $S6$ ； $A = A + \Delta A$ を再定義し、ステップ $S3$ に戻る。

【0022】ステップ $S7$ ；解が収束したら $A$ を出力し、すべての実測データを同様に処理する（ステップ $S2 \sim S7$ ）。

【0023】ステップ $S8$ ；ステップ $S7$ の出力データを $x$ の昇順または降順に並べる。

$$\text{【0024】 } x1 \quad A1$$

$$x2 \quad A2$$

$$x3 \quad A3$$

$$\dots \quad \dots$$

ステップ $S9$ ；対象画像のすべての画素 $(i, j)$ について中心 $o(m, n)$ からの距離を求める。

【0025】

$$r(i, j) = \sqrt{\{(i-m)^2 + (j-n)^2\}}$$

ステップ $S10$ ；画素 $(i, j)$ を $(k, l)$ に補正する。ただし、 $*$ は乗算を表わす。

$$\text{【0026】 } kr(i, j) = m + r(i, j) * f$$

$$30 \quad (r(i, j)) * (i-m) / r(i, j)$$

$$lr(i, j) = n + r(i, j) * f(r(i, j)) * (j-n) / r(i, j)$$

ただし、ここで関数 $f(x)$ の係数 $A$ はステップ $S8$ のテーブル $xn$ （ $n$ は整数値）で求めた $x$ に最も近い $An$ の値を採用する。 $i, j, m, n$ は整数であるが、上式の $kr(i, j), lr(i, j)$ は一般に整数ではない。

【0027】続いて、整数座標値への変換を行う。

【0028】

$(i+1, j+1)$ とすると、

$$s(k, l) = I(s(i, j), s(i+1, j),$$

$$s(i, j+1), s(i+1, j+1))$$

ここに、 $I(s, \dots)$ は補間関数であり、信号

$s, \dots$ の演算でその値が決まることを示している。

【0029】最もよく知られた補間関数として、線形補間関数があり、次のような形をしている。図5に示すような位置関係があり、図の画素 $y$ の値が整数の格子点で

あるとすると、これを取り囲む非整数の画素  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  が単位長さの格子長を持っているとすると、 $y$  の値は以下の式によって求められる。

$$[0030] \quad t_1 = p_2 * r_1 + p_1 (1 - r_1)$$

$$t_2 = p_3 * r_1 + p_4 (1 - r_1)$$

$$y = t_2 * r_3 + t_1 (1 - r_3) \equiv l(p_1, p_2, p_3, p_4)$$

ただし、 $r_3$  は図5の垂直方向に画素  $y$  が画素  $p_4$  から離れている割合である。上記した例の他に種々の補間方法があるが、本発明とは直接関係しないのでその説明を省略する。

$$\angle OCq_1 = \arctan(y_1' / f) \equiv Y_1$$

$$\angle OCq_2 = \arctan(y_2' / f) \equiv Y_2$$

補正条件は

$$Y_1 = X_1 f (X_1)$$

$$Y_2 = X_2 f (X_2)$$

$$X_1 - X_2 = Y_1 - Y_2 \quad (8)$$

十分遠方を撮影する場合は、 $f$  の値は焦点距離でほぼ一定である。従って、画像の実測データ  $y_1'$ ,  $y_2'$  から角度  $Y_1$ ,  $Y_2$  が求まり、これから解  $X_1$ ,  $X_2$  が算出される。

[0034] さて、現実の画像に上記2次補正式をあてはめても、すべての画像で歪が取り除ける訳ではない。さらに、高次の補正項の影響が出ることもあるし、あるいは測定誤差が補正係数に及ぼす影響もある。次に、より高い精度の歪曲収差補正について説明する。

[0035] まず、補正式を

$$f(r) = Ar^2 + Br^4 \quad (9)$$

とおく。ここで  $A$  は2次の補正係数、 $B$  は4次の補正係数である。

[0036] 補正係数の求め方は以下のようにする。すなわち、

ステップS21: (9)式で  $B=0$  とおいて、(7)、

(8)式を解く。このとき、2組以上の対応パターンを見つけ、これらを連立させて  $A$  を求める。このとき

(7)式の  $f$  には仮の値である焦点距離を利用する。

[0037] ステップS22: 多数(5個以上)の対応パターンの組を見つけ、ステップS21で求めた  $A$  を利用して(8)式を評価する。評価誤差を  $E$  と置くと、 $E$  が最低になるまで  $A$  を変化させる。なお、通常、誤差  $E$  は(8)式の最初の2次で求めた  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  を第3式に代入して、両辺の差分を  $E$  として定義することが多い。このとき誤差が原点に近いところに大きな重みをつけておく。すなわち、原点に近い誤差ほど、優先的に補正する。

[0038] ステップS23: 求めた補正関数 ( $B=0$ ) を使い、対応するパターンを重ねることで、2枚の画像を重ねる。重ねた後、原点から順次、局所領域同志のマッチングを行い、その誤差の総和を求める。局所領域は任意のサイズの領域であればよい。通常マッチン

\* [0031] さて、上記した説明では対象物が存在する平面と、結像面が平行である場合であったが、以下に、より一般的な場合についての歪曲収差補正方法を説明する。

[0032] 図6において、左の長方形はカメラ位置が像面1にあるときの実体  $p_1$ ,  $p_2$  に対応する像  $q_1$ ,  $q_2$  であり、右の長方形は像面2における像の位置である。 $o$  は、光軸位置(画像中心)である。

$$[0033] \quad O - q_1 = y_1'$$

$$O - q_2 = y_2' \quad \text{と置くと、}$$

(7)

$g$  は濃度勾配の差分を利用する。図7の場合、 $p_1$  に対応点、 $q_1$ ,  $q_2$  をマッチングした2枚の画像の局所領域とし、図7(a)上の  $x$  印を、両局所領域が対応する補正関数上の点とする。図7(b)の場合では、距離  $q_1$ ,  $q_2$  がこの対応点の誤差である。

[0039] ステップS24: ステップS23で求めた対応点より原点から遠いところで誤差が大きい場合、補正係数  $B$  を導入する。 $A$  を固定し、ステップS23の誤差が最小となるように係数  $B$  を決定する。

[0040] ステップS25: ステップS24で求めた誤差が目標とする誤差範囲に収まらない場合は、係数  $A$  を再度同様に決めていく。誤差を狭めるようにステップS23、24を繰返しながら係数  $B$  も決めていく。所定の回数繰返して処理を終了する。

[0041] なお、上記した本発明の処理は、CPU、RAM、ROM、外部記憶装置、I/Oなどから構成された汎用プロセッサを用いて実施される。

[0042]

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、テストチャートを利用せずに、通常の撮影された画像を利用して歪曲収差を補正することができる。また、従来はほとんどが2次の補正項までであるが、本発明では4次までを考慮し、しかも2次の項を先に決定し、しかる後に4次の項を決定しているので高精度の補正が可能になる。さらに、誤差の評価には、補正関数上の誤差と、重ね合わせた画像の位置誤差の2通りを利用しているので高精度に歪曲収差を補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】座標系  $o$ ,  $o'$  における対応する画像位置を示す図である。

【図2】2つの画像が重なり合うときの関係を示す図である。

【図3】本発明の歪補正処理のフローチャートである。

【図4】共通の対象物が複数個写っている画像  $G_1$ ,  $G_2$  を示す。

【図5】整数座標値の画像格子と、非整数座標値の画像格子との位置関係を示す図である。

【図6】2つのカメラ位置における同一対象物の映像位置を示す図である。

【図7】(a)、(b)は、2枚の画像を重ねた後、局所領域同志のマッチングを行う図である。

【符号の説明】

\*

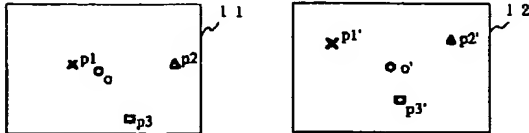
\* 1 1 座標系 $o$ の画像

1 2 座標系 $o'$ の画像

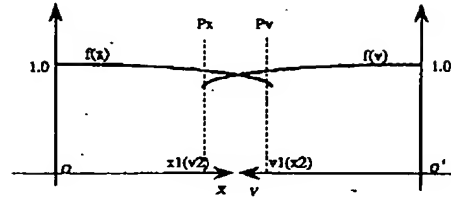
2 1 整数座標値の画像格子

2 2 非整数座標値の画像格子

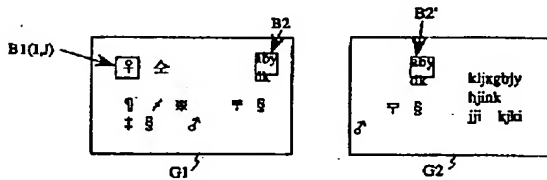
【図1】



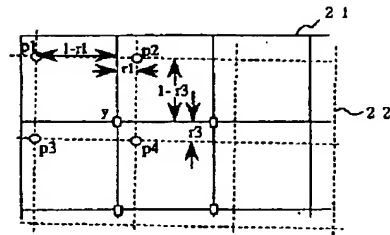
【図2】



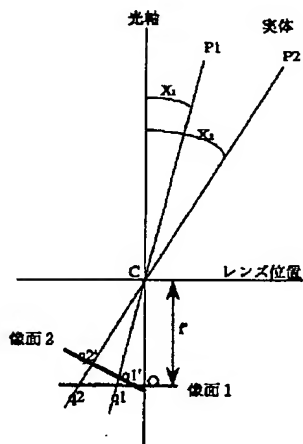
【図4】



【図5】

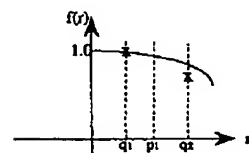


【図6】

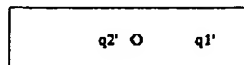
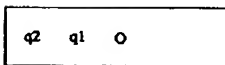
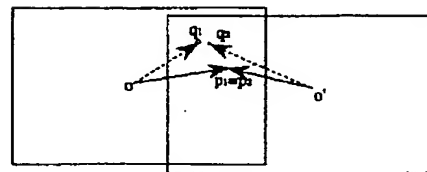


【図7】

(a)



(b)



〔図3〕

